

⑯ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑯ Übersetzung der  
europäischen Patentschrift

⑯ EP 0 493 425 B1

⑯ DE 690 19 530 T 2

⑯ Int. Cl. 6:  
G 02 B 26/02  
H 01 H 1/00

(4)

⑯ Deutsches Aktenzeichen: 690 19 530.3  
⑯ PCT-Aktenzeichen: PCT/GB90/01391  
⑯ Europäisches Aktenzeichen: 90 913 492.6  
⑯ PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 91/05284  
⑯ PCT-Anmeldetag: 7. 9. 90  
⑯ Veröffentlichungstag der PCT-Anmeldung: 18. 4. 91  
⑯ Erstveröffentlichung durch das EPA: 8. 7. 92  
⑯ Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: 17. 5. 95  
⑯ Veröffentlichungstag im Patentblatt: 5. 10. 95

⑯ Unionspriorität: ⑯ ⑯ ⑯

26.09.89 GB 8921722

⑯ Patentinhaber:

British Telecommunications p.l.c., London, GB

⑯ Vertreter:

Beetz und Kollegen, 80538 München

⑯ Benannte Vertragstaaten:

AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, IT, LI, LU, NL, SE

⑯ Erfinder:

WELBOURN, Anthony, David, Ipswich Suffolk IP3  
0SE, GB; McLAUGHLIN, Judith, Clare, Ipswich  
Suffolk IP2 9ET, GB

⑯ MIKROMECHANISCHER SCHALTER.

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelebt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patentamt inhaltlich nicht geprüft.

DE 690 19 530 T 2

DE 690 19 530 T 2

EP 0 493 425

Diese Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Herstellung eines mikromechanischen Schalters und auf einen damit hergestellten mikromechanischen Schalter. Genauer bezieht sich die Erfindung auf die Herstellung von mikromechanischen Trägern, Brücken und Torsionselementen zur Verwendung in optischen Schaltern und Modulatoren.

Auf Silicium basierende mikromechanische Schalter, die mikromechanisch bearbeitete Ablenkträger, Brücken oder Torsionselemente (Schaltelemente) enthalten, sind bekannt. Dieser Typ von Vorrichtung wird üblicherweise durch Ätzen eines Schaltelementes aus monokristallinem Silicium gebildet, wobei der Ätzvorgang unterhalb des Schaltelementes einen Hohlraum oder Schacht ausbildet. Dann werden Elektroden hinzugefügt (oder im monokristallinen Silicium ausgebildet), um das Schaltelement zu steuern. Bei der Herstellung von Spiegelschaltern oder -modulatoren wird die Oberfläche des Schaltelementes mit einer Beschichtung aus reflektierendem Metall versehen. Solche Schalter bieten im Vergleich zu herkömmlichen Schaltern erhebliche Vorteile, die in ihrer kleinen Größe, ihrer schnellen Reaktion und ihren vernachlässigbaren Alterungseffekten begründet sind. Außerdem können sie mit Techniken hergestellt werden, die zu den Standardherstellungsverfahren für integrierte Schaltungen (IC) kompatibel sind, und bieten so die Möglichkeit einer losweisen Herstellung und einer Integration mit zugehörigen elektronischen Schaltungen.

Für einige Anwendungen optischer Schalter ist es vorteilhaft, Schaltelemente zu verwenden, die größer sind als jene, die mit bekannten mikromechanischen Bearbeitungs-

techniken hergestellt werden können (typisch 30 bis 75  $\mu\text{m}$ ). Ungünstigerweise entstehen mit steigender Größe des Schaltelementes Herstellungsprobleme. So ist ein sehr hoher Grad an Ätzselektivität erforderlich, wenn das Schaltelement Ausmaße größer als 300  $\mu\text{m}$  hat. Dies kommt daher, daß der vor dem Ätzvorgang zu schützende Bereich mit einer ätzresistenten Maskenschicht von 0,1 bis 0,2  $\mu\text{m}$  Dicke beschichtet wird und das Material unterhalb des Schaltelements (das unterschnitten werden soll) vollständig erodiert werden muß. Dies erfordert ein überlanges Ätzen und eine Selektivität zwischen dem Unterschneidungsbereich und der Ätzmaske größer als 3000:1. Um eine ungefähre Vorstellung von diesem Abhängigkeitsverhältnis zu vermitteln, ist zu erwähnen, daß normalerweise  $\text{Si}_3\text{N}_4$  als Schutzmaske gegen das übliche Oxidätzmittel (gepuffertes HF-Ätzmittel) verwendet wird, jedoch das Ätzverhältnis von  $\text{SiO}_2 : \text{Si}_3\text{N}_4$  nur ungefähr 50 : 1 beträgt. Wenn ein anisotropes Si-Ätzmittel verwendet wird, um {100}-Ebenen schnell zu ätzen, wobei an {111}-Ebenen ein "Ätz-Stopp" stattfindet, beträgt die Selektivität für Etylen-Diamin-Pyrocatechin und Wasser (EDP) typischerweise 50 : 1 und für KOH zwischen 100 : 1 und 300 : 1.

Außerdem ist von Bedeutung, daß die Kanten des unterhalb des Schaltelements ausgebildeten Hohlraums während des Unterschneidungs-Ätzprozesses gut definiert sind. So ist eine seitliche Ätzstoppschicht um die Hohlraumkante erforderlich, um eine Vergrößerung des Hohlraums um mehrere 100  $\mu\text{m}$  pro Seite zu verhindern, wenn eine Unterschneidung von mehreren 100  $\mu\text{m}$  ausgebildet werden soll (was für Großflächenschaltelemente erforderlich ist). Da eine gewisse Vergrößerung tolerierbar ist, ist hierbei eine Selektivität größer als 100 : 1 angemessen. Selbst dieser Grad an Ätzselektivität ist jedoch schwer zu erreichen.

Ein weiteres Problem, das bei der Herstellung von Spiegelschaltern/-Modulatoren auftreten kann, besteht darin, daß das Metallreflexionsvermögen durch den Ätzprozeß beeinträchtigt werden kann. Um dieses Problem zu lösen, kann das Metall vor dem Tiefunterschneidungs-Ätzschritt passiviert (d. h. mit nichtätzendem Material beschichtet) werden. Diese Passivierungsschicht muß mit einem Niedertemperaturverfahren ausgebildet werden, um eine thermische Beschädigung der Metallschicht und eine Spannungsbeschädigung des Schaltelementes zu vermeiden.

Ungünstigerweise besitzen Niedertemperatur-Passivierungsschichten eine geringe Ätzbeständigkeit, so daß es schwierig ist, das Metallreflexionsvermögen vor einer Beeinträchtigung zu bewahren.

Wenn das Schaltelement eines solchen Schalters elektro-nisch gesteuert wird, können hohe Spannungen erforderlich sein, wobei es in diesem Fall wichtig ist, gute Isolati-onsdurchschlagfestigkeit zwischen den Steuerelektroden zu erreichen. Wenn das Schaltelement ein Torsionselement ist, ist dies sehr schwierig monolithisch zu verwirkli-chen. Ferner ist es schwierig, zu verhindern, daß sich die Torsionsstäbe eines solchen Torsionselements unter den zur Steuerung des Elements verwendeten Kräften nicht biegen.

Es ist das Ziel der Erfindung, ein Verfahren zur Herstel-lung eines mikromechanischen Schalters zu schaffen, der nicht unter diesen Problemen leidet.

Die US-A-4 805 038 offenbart eine Vorrichtung, die eine Art mikromechanischer optischer Schalter enthält, die durch ein Ätzverfahren gebildet werden.

Die vorliegende Erfindung schafft ein Verfahren zur Herstellung eines mikromechanischen Schalters, mit den Schritten:

- a) Bilden einer ersten Opferschicht auf einem Substrat;
- b) Bilden einer zweiten Opferschicht als Insel auf der ersten Opferschicht;
- c) Bilden einer Schaltelementschicht aus nachgiebigem Material auf der zweiten Opferschicht;
- d) Festlegen des Umrisses eines Schaltelements auf der Schaltelementschicht;
- e) Festlegen des Umrisses eines Fensters;
- f) Ätzen einer Öffnung in die zweite Opferschicht durch das Fenster unter Verwendung eines Ätzmittels, das den Bereich der Schaltelementschicht, die das Schaltelement bilden soll, seitlich unterschneidet; und
- d) Ätzen der ersten Opferschicht durch die Öffnung in der geätzten zweiten Opferschicht, um unter dem genannten Bereich einen Hohlraum zu erzeugen.

Günstigerweise ist die erste Opferschicht eine Oxidschicht, die durch Abscheidung oder thermisches Aufwachsen gebildet wird. Die zweite Opferschicht besitzt vorzugsweise eine Dicke, die im Vergleich zu jener der ersten Opferschicht klein ist. Üblicherweise beträgt die Dicke der ersten Opferschicht im wesentlichen 10  $\mu\text{m}$ , während die Dicke der zweiten Opferschicht zwischen 0,5 und 2  $\mu\text{m}$  beträgt.

Das Verfahren kann ferner den Schritt des Bildens einer Nitridschicht auf der zweiten Opferschicht vor dem Bilden der Schaltelementschicht umfassen, wobei die Nitridschicht eine Dicke zwischen 0,1 und 0,4  $\mu\text{m}$  aufweist.

Die Schaltelementschicht ist vorzugsweise dotiertes Polysilicium und wird durch Abscheidung gebildet, wobei die

Dicke der Schaltelementschicht zwischen 0,5 und 2  $\mu\text{m}$  beträgt.

Der Umriß des Schaltelements wird vorzugsweise photolithographisch bestimmt, wobei das Schaltelement durch wahlweises Ätzen der Schaltelementschicht bis zur Nitridschicht gebildet wird. Üblicherweise wird die Schaltelementschicht unter Verwendung von Plasmaätzen geätzt.

Nach dem Schritt des Ätzens der Schaltelementschicht kann eine weitere Nitridschicht abgelagert werden, wobei die weitere Nitridschicht eine Dicke zwischen 0,1 und 0,3  $\mu\text{m}$  aufweist. Das Verfahren kann ferner den Schritt des Bildens einer Metallschicht auf demjenigen Bereich der weiteren Nitridschicht, der das Schaltelement bedeckt, umfassen. Das Verfahren kann weiter den Schritt des Bildens einer passivierenden Schicht über der Metallschicht umfassen.

Der Umriß des Fensters kann photolithographisch auf der passivierenden Schicht gebildet werden. Die passivierende Schicht wird vorzugsweise durch das Fenster unter Verwendung eines gepufferten HF-Ätzmittels geätzt. Danach können beide Nitridschichten unter Verwendung der geätzten passivierenden Schicht als Maske geätzt werden, wobei Orthophosphorsäure als Ätzmittel verwendet wird. Alternativ können sowohl die Passivierungsschicht als auch beide Nitridschichten durch das Fenster hindurch mit einem einzigen Plasmaätzschnitt geätzt werden. Der Plasmaätzschnitt verwendet vorteilhaft  $\text{CHF}_3$  als Ätzmittel.

Die Erfindung kann ferner den Schritt des Bildens einer weiteren Metallschicht über einem Teil der passivierenden Schicht und einem Teil der ersten Opferschicht umfassen, wobei die weitere Metallschicht vor dem Ätzen der passivierenden Schicht gebildet wird. Die weitere Metall-

schicht wird vorzugsweise durch Galvanisierung gebildet und hat eine Dicke zwischen 3 und 4  $\mu\text{m}$ .

Die zweite Opferschicht wird vorzugsweise unter Verwendung von EDP als Ätzmittel geätzt, während die erste Schicht unter Verwendung eines gepufferten HF-Ätzmittels geätzt wird.

Das Verfahren kann ferner vor der Bildung der ersten Opferschicht den Schritt des Bildens einer oder mehrerer Elektroden auf dem Substrat umfassen.

Die Erfindung schafft außerdem einen mikromechanischen Schalter, der mit dem obenbeschriebenen Verfahren direkt hergestellt werden kann (vergleiche Artikel 64 (2) EPÜ).

Im folgenden wird die Erfindung anhand von Beispielen und mit Bezug auf die beigefügten Zeichnungen genauer beschrieben; es zeigen:

Fig. 1 bis 3      schematische Längsschnitte, die den grundlegenden Prozeßablauf des Herstellungsverfahrens der Erfindung erläutern;

Fig. 4 bis 6      schematische Längsschnitte durch eine praktische Vorrichtung, die gemäß der Erfindung aufgebaut ist, in verschiedenen Herstellungsschritten;

Fig. 7            eine schematische Draufsicht der Vorrichtung in einem Zwischenschritt der Herstellung;

Fig. 8            einen schematischen Querschnitt durch eine fertiggestellte Version einer Vorrichtung, die eine modifizierte Version der Vorrichtung der Fig. 1 bis 4 ist;

Fig. 9 einen schematischen Längsschnitt einer modifizierten Form der Vorrichtung, ähnlich der Fig. 1; und

Fig. 11 bis 12 schematische Längsschnitte durch eine elektrische Schaltvorrichtung, die gemäß der Erfindung aufgebaut ist, in verschiedenen Herstellungsschritten.

Fig. 1 zeigt einen Zwischenschritt im Grundprozeß zur Herstellung eines mikromechanischen Schalters. Auf einem Siliciumsubstrat S wird eine erste relativ dicke Opferschicht S1 ausgebildet, wobei das Substrat eine oder mehrere (nicht gezeigte) untere Elektroden besitzt. Dann wird auf der ersten Opferschicht S1 eine zweite relativ dünne Opferschicht S2 gebildet. Danach wird auf der Schicht S2 eine Freiträgerschicht S3 gebildet. Diese Stufe des Prozesses ist in Fig. 1 gezeigt. Dann wird (unter Verwendung eines geeigneten Ätzmittels) unterhalb des Bereiches der Schicht S3, der durch eine lange Unterschneidung (siehe Fig. 2) einen Freiträger B bilden soll, die Schicht S2 entfernt. Dann wird durch den in der Schicht S2 ausgebildeten Hohlraum ein Hohlraum C in die Schicht S1 geätzt. Der tiefe Hohlraum C wird somit in einer Zeitspanne geätzt, die nicht der Tiefe der Unterschneidung, sondern der Dicke der Schicht S1 entspricht. Die Anforderungen für eine hohe Ätzgeschwindigkeitsselektivität und für dicke Schichten werden somit auf zwei unterschiedliche Materialien aufgeteilt.

Die Fig. 4 bis 6 zeigen verschiedene Stufen des Herstellungsprozesses einer praktischen Vorrichtung. So zeigt Fig. 4 eine Zwischenstufe des Herstellungsverfahrens eines optischen mikromechanischen Schalters. Der Ausgangspunkt für den Prozeß gemäß der Erfindung ist ein monokristallines Siliciumsubstrat 1. Mit einem Diffusionsverfahren wird eine untere Elektrode 2 im Substrat 1

ausgebildet, in welchem ein stark dotierter Bereich die untere Elektrode festlegt. Der stark dotierte Bereich kann  $p^+$  (wobei Bor als Dotierungsmittel verwendet wird) oder  $n^-$  (wobei Arsen oder Phosphor als Dotierungsmittel verwendet wird) sein.

Auf dem Substrat 1 wird durch thermisches Aufwachsen eine dicke Opferschicht 3 ( $\approx 10 \mu\text{m}$ ) gebildet, auf der mit einem chemischen Aufdampfungsverfahren eine dünne Polysilicium-Opferschicht 4 (0,5 bis 2,0  $\mu\text{m}$ ) abgeschieden wird. Dann wird unter Verwendung einer photolithographischen Technik auf die dünne Opferschicht 4 der Umriß 5 eines (später beschriebenen) Hohlraumes gedruckt (siehe Fig. 7). Der Umriß des Hohlraumes wird dann durch Ätzen der Polysiliciumschicht 4 unter Verwendung von Plasmaätzen oder eines Naßätzverfahrens festgelegt. Danach wird die Schicht 4 mit einer Nitridschutzschicht 6 überzogen, wobei diese Schicht mit einem CVD-Verfahren - entweder plasmaunterstütztes CVD (PECVD) oder Niederdruck-CVD (LPCVD) - bis zu einer Dicke von 0,1 bis 0,4 Mikrometer abgelagert wird. Die Schicht 6 schützt die Unterseite einer anschließend hinzugefügten Schicht 7.

Die Schicht 7 ist eine dotierte Polysiliciumschicht, die durch CVD bis zu einer Dicke von 0,5 bis 2,0  $\mu\text{m}$  abgelagert wird. Die Schicht 7 ist entweder  $p^+$ -dotiert oder  $n^+$ -dotiert, so daß diese Schicht als eine Elektrode wirken kann (wie später beschrieben). Das Dotieren der Schicht 7 macht auch das Polysilicium weich, wodurch Spannungen in dieser Schicht gelöst werden. Dann wird mit einem photolithographischen Verfahren das Muster eines Freiträgers 8 auf die Schicht 7 gedruckt (siehe Fig. 7), woraufhin das Polysilicium unter Verwendung von Plasmaätzen weggeätzt wird, um die Form des Trägers auszubilden. Plasmaätzen ist ein selektives Ätzverfahren, das an der Nitridschicht 6 stoppt.

Dann wird durch CVD eine zweite Nitridschicht 9 konform abgeschieden, wobei diese Schicht eine Dicke von 0,6 bis 0,3  $\mu\text{m}$  besitzt und die oberen Seiten des Trägers 8 schützt. Die konforme Abscheidung dieser Schicht 9 ist erforderlich, um einen ausreichenden Schutz für die Seiten des Trägers 8 sicherzustellen. Dann wird über der Schicht 9 durch Aufdampfen oder Sputtern eine dünne Schicht 10 aus Aluminium abgeschieden. Diese Schicht 10 bildet sowohl eine obere Elektrode als auch eine Spiegeloberfläche. Die Schicht 10 muß eine dünne Schicht sein (50 nm bis 0,2  $\mu\text{m}$ ), um die Spannung im Träger 8, der aus der Polysiliciumschicht 7 gebildet wird, zu verringern. In jenen Bereichen, in welchen Kontaktdrähte für die obere Elektrode auf die Schicht 10 gebondet werden, ist eine minimale Dicke der Metallschicht von 0,5  $\mu\text{m}$  erforderlich. Deshalb wird in der Praxis über der gesamten Fläche der Vorrichtung eine dicke Aluminiumschicht (0,5  $\mu\text{m}$ ) abgeschieden und im Anschluß an einen photolithographischen Druckschritt wird durch Plasmaätzen überall Aluminium entfernt, mit Ausnahme jener Kontaktbereiche und irgendwelcher notwendiger Verdrahtungswege. Dann wird eine passivierende Schicht 11 abgeschieden, die die Schicht 10 vor den nachfolgenden Verarbeitungsschritten schützt. Diese Schicht 11 ist eine konforme Niedertemperatur-Oxidbeschichtung mit 0,5  $\mu\text{m}$  Dicke, die durch PECVD gebildet wird. Fig. 4 erläutert die Vorrichtung in diesem Zustand des Herstellungsverfahrens.

Dann wird auf der passivierenden Schicht 11 mit einer photolithographischen Technik der Umriß 12 (siehe Fig. 7) eines Ätzfensters ausgebildet, die zur Ausbildung eines Hohlraums 13 (später beschrieben) dient, während sie den Freiträger 8 schützt. Dann wird unter Verwendung eines gepufferten HF-Ätzmittels die passivierende Schicht 11 innerhalb des Umrisses 12 wegätz. Anschließend werden

innerhalb des Umrisses 12 die Nitridschichten 6 und 9 geätzt, wobei die passivierende Schicht als Maske und Orthophosphorsäure als Ätzmittel verwendet werden. Dann wird unter Verwendung von EDP als Ätzmittel die dünne Opferschicht 4 geätzt. Dieser Ätzschritt unterschneidet das Polysilicium der Fig. 4 unterhalb des Freiträgers 8. Es sollte beachtet werden, daß bei EDP die Ätzselektivität von Polysilicium zu Nitrid mehr als 6000 : 1 beträgt, während die Ätzselektivität von Polysilicium zu passivierendem Oxid mehr als 2500 : 1 beträgt. Fig. 2 zeigt die Vorrichtung in diesem Schritt des Herstellungsverfahrens.

Dann wird durch Ätzen der dicken Opferschicht 3 unter Verwendung des gepufferten HF-Ätzmittels der Hohlraum 13 gebildet. Dieser Ätzschritt entfernt auch die passivierende Schicht 11. Für das gepufferte HF-Ätzmittel beträgt die Ätzselektivität von Oxid zu Nitrid mehr als 50 : 1. Die Ätzzeit ist theoretisch unabhängig von der Fläche des Hohlraumes 13 und hängt nur von der Dicke der Schicht 3 ab, da das Ätzmittel sofort vollständig unter den Freiträger 8 eindringen kann. Die Seitenwände des Hohlraumes 13 werden um eine Länge unterschnitten, die ungefähr gleich der Tiefe des Hohlraumes ist.

Wenn ein Schalter mit einem Torsionselement benötigt wird, kann das oben mit Bezug auf die Fig. 4 bis 7 beschriebene Herstellungsverfahren modifiziert werden. Um statt eines Freiträgers ein Torsionselement zu bilden, kann der Umriß des Ätzfensters modifiziert werden, um zwei Torsionsstäbe 14 (siehe Fig. 8) zu bilden, die sich von einem Zentralbereich des Torsionselements 8' quer in gegenüberliegende Richtungen erstrecken. Außerdem kann (zwischen den Schritten des Ausbildens der beiden Opferschichten 3 und 4) eine zusätzliche Nitridschicht 15 unterhalb der Bereiche, in denen die Torsionsstäbe 14 auszubilden sind, gebildet werden. In diesem Bereich wird

in den Ätzschritten, die den Hohlraum 13 bilden, nur die dünne Opferschicht 4 entfernt, wobei die entstehende Säule (siehe Fig. 8) eine Stütze für das Torsionselement 8' bildet, wodurch ein Biegen des Elements minimiert wird.

Fig. 9 zeigt einen Zwischenschritt der Herstellung (entsprechend der Fig. 4) einer weiteren Form einer modifizierten Vorrichtung, die einen Freiträger 8" enthält. Der Träger 8" ist ein Mehrschichtträger, der eine piezoelektrische Schicht 16 enthält. Der Träger 8" bildet somit eine piezoelektrische Zweielement-Betätigungs vorrichtung, deren Auslenkung vom elektrischen Feld innerhalb der piezoelektrischen Schicht 16 gesteuert wird.

Die Fig. 10 bis 11 zeigen, wie das Herstellungsverfahren der Erfindung modifiziert werden kann, um einen elektrischen mikromechanischen Schalter zu schaffen. Da die meisten Verfahrensschritte jenen des oben mit Bezug auf die Fig. 4 bis 6 beschriebenen Verfahrens ähnlich sind, werden im folgenden nur die modifizierten Verfahrensschritte der Fig. 10 bis 12 genau beschrieben, wobei für ähnliche Teile ähnliche Bezugszeichen (100 hinzuaddiert) verwendet werden. So wird auf einem monokristallinen Siliciumsubstrat 101 (z. B. durch Sputtern eines hochschmelzenden Metalles) eine untere Elektrode 102 abgeschieden. Dann werden entsprechend die dünnen und dicken Opferschichten 103 und 104 gebildet, woraufhin eine Schaltelementschicht 107 erzeugt wird. Diese Schicht 107 ist eine leitende Schicht, die ein Freiträgerschaltelement 108 (siehe Fig. 12) bilden soll und z. B. aus diertem Polysilicium oder aus Metall besteht. Diese Schicht kann auch eine Isolatorschicht sein, die oben und unten mit Metall beschichtet ist. Durch PECVD wird eine dritte Opferschicht 111 (Oxid) abgeschieden, wobei diese

Schicht als passivierende Schicht wirkt und eine Dicke zwischen 1 und 2  $\mu\text{m}$  aufweist. Dann wird über einem Teil der Schicht 111 und über einem Teil der Schicht 103 durch Galvanisierung eine 3 bis 4  $\mu\text{m}$  dicke Metallschicht 120 gebildet. Diese Stufe des Verfahrens ist in Fig. 10 gezeigt.

Dann wird unter Verwendung eines gepufferten HF-Ätzmittels die Opferschicht 111 herausgeätzt, um zwischen der Schicht 107 und der Schicht 120 einen Zwischenraum entstehen zu lassen (siehe Fig. 11). Die übrigen Verfahrensschritte sind ähnlich den oben mit Bezug auf die Fig. 4 bis 6 beschriebenen abschließenden Verfahrensschritten und beziehen sich auf die Bildung des Trägers 108 und des Hohlraumes 113. Fig. 12 zeigt den fertiggestellten elektrischen mikromechanischen Schalter, bei dem sich der Träger 108 von sich aus nach oben biegt, um mit der Schicht 120 einen elektrischen Kontakt zu bilden. Diese Biegung entsteht als Ergebnis einer Aufwärts-Biegebewegung, die dem Träger 108 aufgrund inhärenter Spannungen eigen ist, welche im Träger durch die Verwendung zweier verschiedener Materialien entstehen. Der Träger 108 kann dann unter Verwendung der unteren Elektrode 102 elektrostatisch gesteuert werden, um den elektrischen Kontakt zwischen dem Träger und der Schicht 120 zu schließen oder zu öffnen und somit einen einfachen Schalter zu bilden. Durch Vorsehen einer weiteren Elektrode innerhalb des Hohlraumes 113 kann ein Umschalter gebildet werden. Der Träger 108 kann alternativ eine piezoelektrische Zweielementvorrichtung sein, die sowohl aufwärts als auch abwärts gebogen werden kann, um einen Kontakt mit der unteren Elektrode 102 und der Schicht 120 (obere Elektrode) herzustellen.

Das obenbeschriebene Verfahren zur Herstellung eines mikromechanischen Schalters hat folgende Vorteile:

1. Es bietet vollständige Flexibilität bei der Plazierung der Elektroden bezüglich des Hohlraumes und der Schaltelemente, so daß es sowohl für Torsionselemente und Brücken als auch für Freiträger ausgelegt sein kann.
2. Es ermöglicht im Vergleich zu Verfahren, die eine einzige Opferschicht verwenden (was ein sehr tiefes Ätzen erfordert, das seinerseits Probleme mit späteren Abdeckschritten mit sich bringt), eine einfache Steuerung der Vergrößerung des Hohlraumes 13.
3. Es erfordert keinen Schritt für ein epitaxiales Aufwachsen.
4. Die erforderlichen Ätzselektivitäten können mit Materialien erreicht werden, die leicht verfügbar sind.
5. Es kann sowohl für schließende als auch für öffnende elektrische Schalter verwendet werden.
6. Es ergibt inhärent einen Multischichtträger, was eine Kompensierung von Spannungen ermöglicht.

Selbstverständlich kann das obenbeschriebene Herstellungsverfahren auf mehrere Arten modifiziert werden. Zum Beispiel kann die untere Elektrode durch die Abscheidung eines hochschmelzenden Metalls oder durch Ionenimplantation gebildet werden. Wo eine einzige untere Elektrode 2 benötigt wird, kann das gesamte Substrat 1 dotiert werden (entweder  $n^+$  oder  $p^+$ ). Es ist ebenso möglich, zwei untere Elektroden vorzusehen, wenn z. B. ein Torsionselement das Schaltelement bildet. Auch ist es möglich, die dicke Opferschicht 3 z. B. durch PECVD abzuscheiden, insbesondere wenn eine Metallelektrode 2 verwendet wird. Statt einen Träger 8 (Schaltelement) aus einer Polysiliciumschicht 7 zu bilden, kann diese Schicht aus  $SiO_2$  bestehen, das z. B. durch PECVD abgeschieden wird. Außerdem kann für die Elektrode / den Spiegel 10 als Metall Gold

statt Aluminium verwendet werden. In diesem Fall ist die anschließende Bildung der passivierenden Schicht 11 nicht erforderlich. Wenn eine passivierende Schicht 11 erforderlich ist, kann diese alternativ eine Nitridschicht sein. Als Alternative zur Verwendung von zwei Ätzschritten zum Ätzen der passivierenden Schicht 11 und der beiden Nitridschichten 6 und 9 können diese Schichten in einem einzigen Plasmaätzschritt geätzt werden, der z. B.  $\text{CHF}_3$  verwendet.

EP 0 493 425

729-48.994EP-APWa

## P A T E N T A N S P R Ü C H E

1. Verfahren zur Herstellung eines mikromechanischen Schalters mit den Schritten:
  - a) Bilden einer ersten Opferschicht (S1, 3, 103) auf einem Substrat (S, 1, 101);
  - b) Bilden einer zweiten Opferschicht (S2, 4, 104) als Insel auf der ersten Opferschicht;
  - c) Bilden einer Schaltelementschicht (S3, 7, 107) aus nachgiebigem Material auf der zweiten Opferschicht;
  - d) Festlegen des Umrisses (8, 8') eines Schaltelements auf der Schaltelementschicht;
  - e) Festlegen des Umrisses (12) eines Fensters;
  - f) Ätzen einer Öffnung in die zweite Opferschicht (S2, 4, 104) durch das Fenster und Verwendung eines Ätzmittels, das den Bereich der Schaltelementschicht, die das Schaltelement formen soll, seitlich unterschneidet; und
  - g) Ätzen der ersten Opferschicht (S, 3, 103) durch die Öffnung in der geätzten zweiten Opferschicht, um

unter dem genannten Bereich einen Hohlraum zu erzeugen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die erste Opferschicht (3, 103) eine Oxidschicht ist, die durch Ablagerung oder durch thermisches Aufwachsen gebildet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die zweite Opferschicht (4, 104) eine Polysiliciumschicht ist, die durch Ablagerung gebildet wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem die zweite Opferschicht (4, 104) eine Dicke hat, die klein ist im Vergleich zu derjenigen der ersten Opferschicht (3, 103).
5. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem die Dicke der ersten Opferschicht (3, 103) in etwa 10  $\mu\text{m}$  beträgt und die Dicke der zweiten Opferschicht (4, 104) zwischen 0,5 und 2  $\mu\text{m}$  liegt.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, mit dem weiteren Schritt des Bildens einer Nitridschicht (6) auf der zweiten Opferschicht vor dem Bilden der Schaltelementschicht.
7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem die Nitridschicht (6) eine Dicke zwischen 0,1 und 0,4  $\mu\text{m}$  hat.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem die Schaltelementschicht (7, 107) dotiertes Polysilicium ist und durch Ablagerung gebildet wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, bei dem die Dicke der Schaltelementschicht (7, 107) zwischen 0,5 und 2  $\mu\text{m}$  liegt.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, bei dem der Umriß des Schaltelements (7, 107) photolithographisch bestimmt wird.
11. Verfahren nach Anspruch 6 oder einem der Ansprüche 7 bis 10, soweit sie sich auf Anspruch 6 zurückbeziehen, bei dem das Schaltelement (7, 107) durch wahlweises Ätzen der Schaltelementschicht bis zur Nitridschicht (6) gebildet wird.
12. Verfahren nach Anspruch 11, bei dem die Schaltelementschicht (7, 107) unter Verwendung von Plasmaätzen geätzt wird.
13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, bei dem auf den Schritt des Ätzens der Schaltelementschicht (7, 107) hin eine weitere Nitridschicht (9) abgelagert wird.
14. Verfahren nach Anspruch 13, bei dem die weitere Nitridschicht (9) eine Dicke zwischen 0,1 und 0,3  $\mu\text{m}$  hat.
15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14, mit dem weiteren Schritt des Bildens einer Metallschicht (10) auf demjenigen Bereich der weiteren Nitridschicht (9), der das Schaltelement (7, 107) bedeckt.
16. Verfahren nach Anspruch 15, mit dem weiteren Schritt des Bildens einer passivierenden Schicht (11) über der Metallschicht (10).

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, bei dem der Umriß (12) des Fensters photolithographisch auf der passivierenden Schicht (11) gebildet wird.
18. Verfahren nach Anspruch 17, bei dem die passivierende Schicht (11) durch das Fenster unter Verwendung eines gepufferten HF-Ätzmittels geätzt wird.
19. Verfahren nach Anspruch 18, bei dem beide Nitridschichten (6, 9) geätzt werden, indem die geätzte passivierende Schicht (11) als Maske verwendet wird, und wobei Orthophosphorsäure als Ätzmittel verwendet wird.
20. Verfahren nach Anspruch 17, bei dem die passivierende Schicht (11) und beide Nitridschichten (6, 9) durch das Fenster hindurch durch einen einzigen Plasmaätzschnitt geätzt werden.
21. Verfahren nach Anspruch 20, bei dem im Plasmaätzschnitt  $\text{CHF}_3$  als Ätzmittel verwendet wird.
22. Verfahren nach einem der Ansprüche 18 bis 21, mit dem weiteren Schritt des Bildens einer weiteren Metallschicht (120) über einem Teil der passivierenden Schicht (111) und einem Teil der ersten Opferschicht (103), wobei die weitere Metallschicht vor dem Ätzen der passivierenden Schicht gebildet wird.
23. Verfahren nach Anspruch 22, bei dem die weitere Metallschicht (120) durch Galvanisierung gebildet wird und eine Dicke zwischen 3 und 4  $\mu\text{m}$  hat.

24. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 23, bei dem die zweite Opferschicht (4, 104) unter Verwendung von EDP als Ätzmittel geätzt wird.
25. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 24, bei dem die erste Opferschicht (3, 103) unter Verwendung eines gepufferten HF-Ätzmittels geätzt wird.
26. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 25, mit dem weiteren Schritt des Bildens einer oder mehrerer Elektroden (2, 102) auf dem Substrat, bevor die erste Opferschicht gebildet wird.

1/4

Fig. 1.

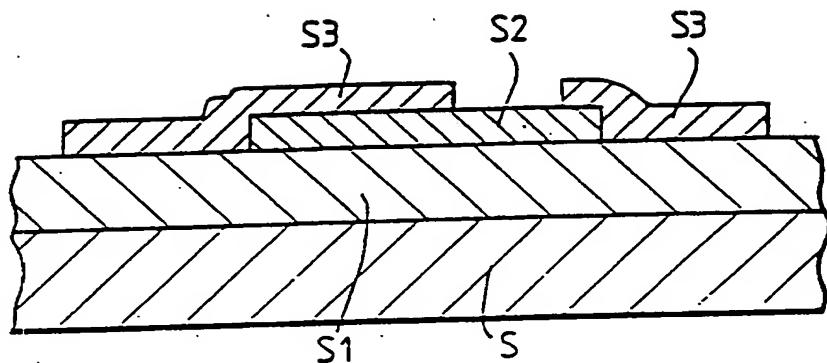


Fig. 2.

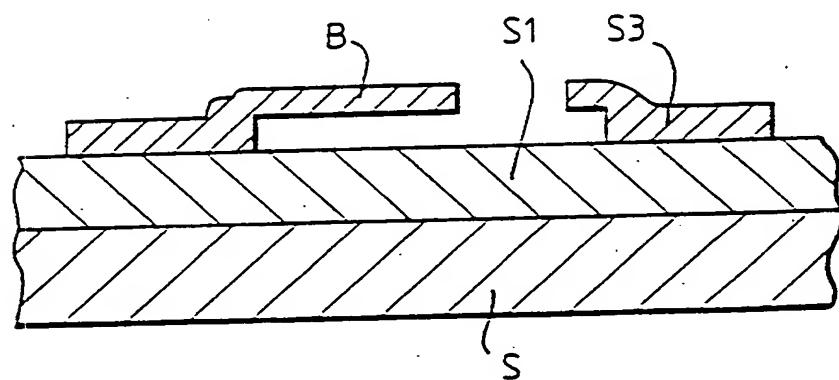


Fig. 3.

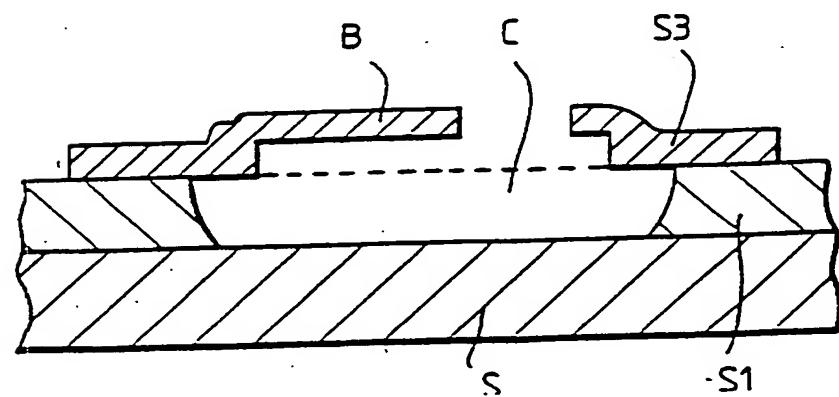


Fig. 4.

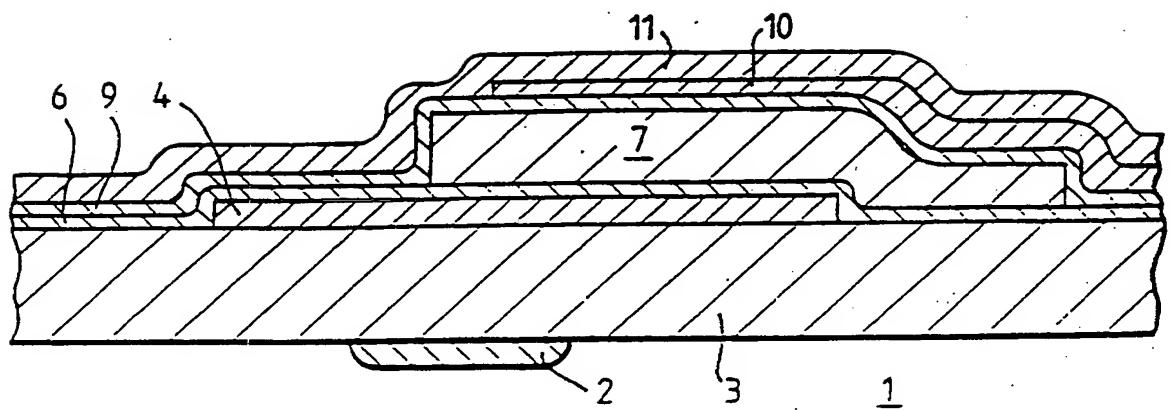


Fig. 5.

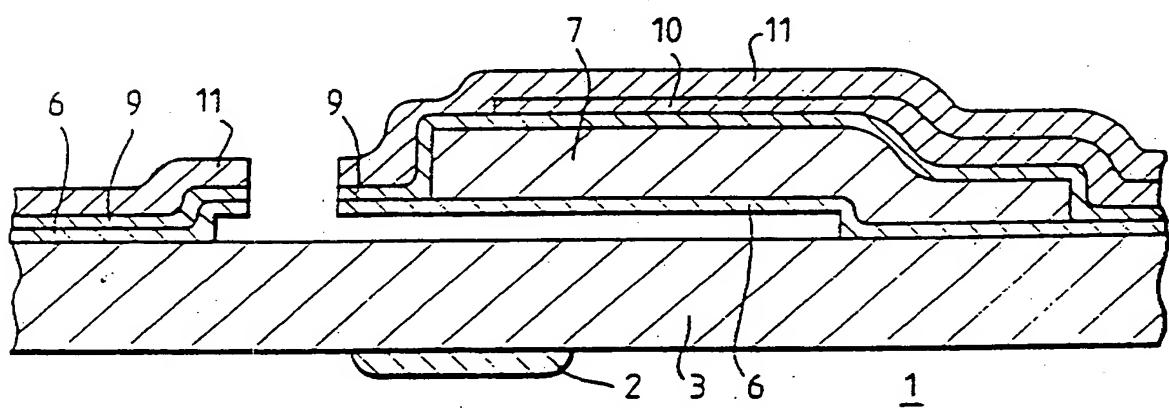


Fig. 6.

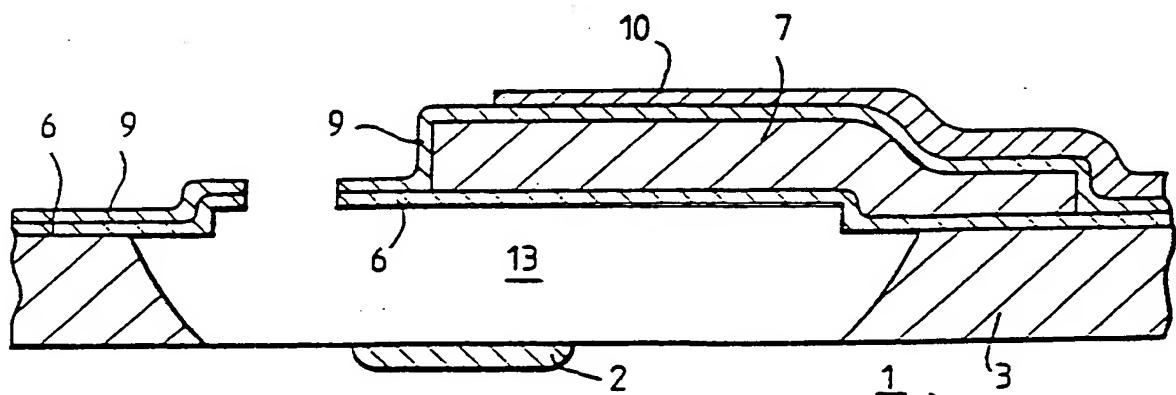


Fig. 7.

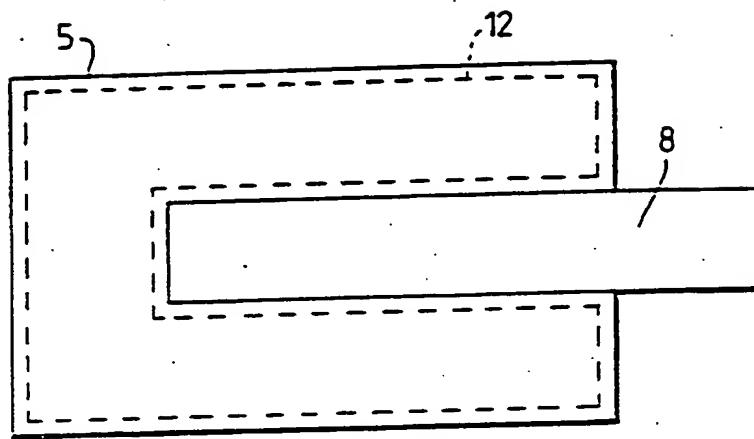


Fig. 8.

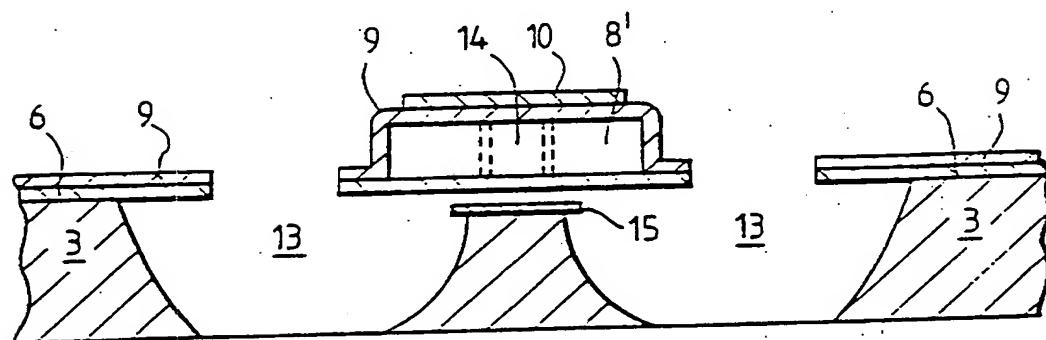


Fig. 9.

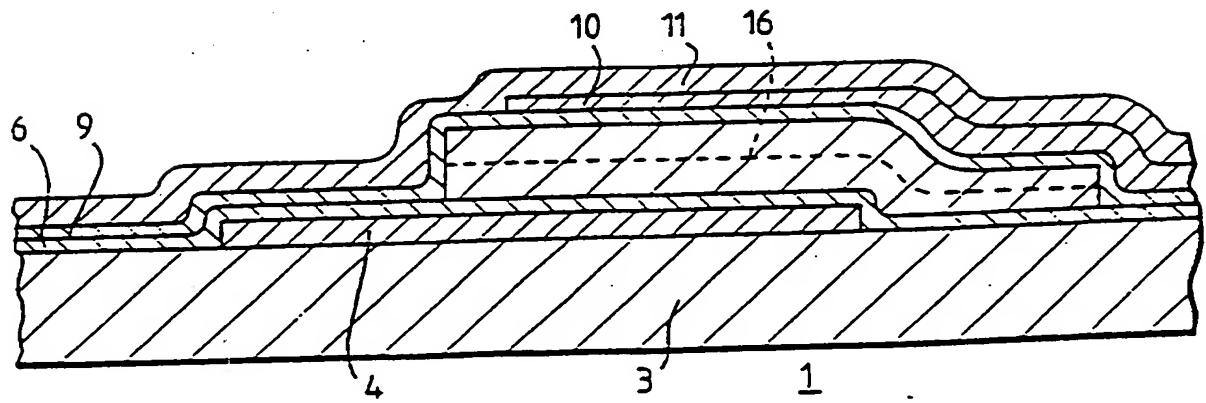


Fig. 10.

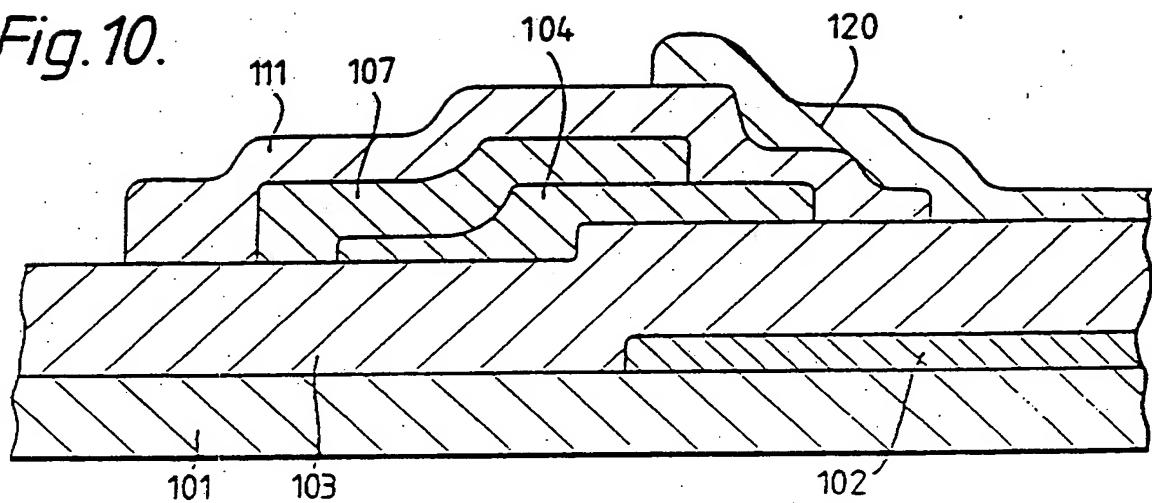


Fig. 11.

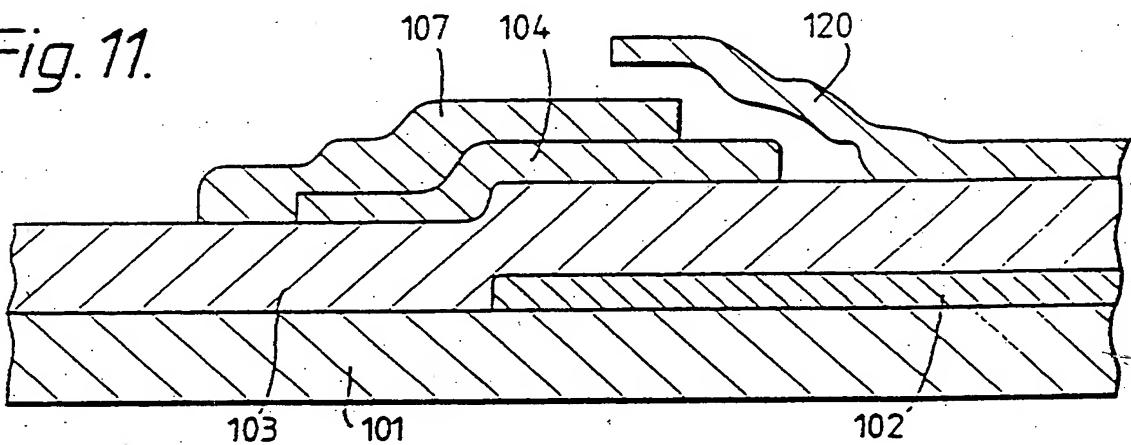


Fig. 12.

